

Új szál: a politejsav

Dr. Borsa Judit

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Vegyésszmérnöki és Biomérnöki Kar
jborsa@mail.bme.hu

A politejsav (polylactic acid: PLA) egyelőre még kevéssé ismert, természetes alapanyagból készülő, biodegradálható (biológiailag lebomló) – tehát a fenntartható fejlődés szempontjából kiváló – műanyag. A csomagolóiparban, amely sok eldobandó anyagot gyárt, egyre inkább terjed.

A politejsav szálak és a belőlük készült különféle termékek olyan kedvező tulajdonságokkal rendelkeznek, hogy nem csak a környezetvédelmi megfontolások alapján, hanem önmagában eme tulajdonságok miatt is érdemesek a hazai bevezetésre.

Várható, hogy a politejsav szál néhány éven belül a hazai textilipar számára is elérhető lesz, ezért – az erre való felkészülés jegyében – hasznos a szálal kapcsolatos ismereteket összefoglalni.

1. Bevezetés

A jelen közlemény célja, hogy

- érveket adjon a politejsav szál gyártását szorgalmazó szakemberek kezébe a politejsav gazdasági, környezetvédelmi és szálalkalmazási előnyeiről;

- ismereteket adjon a potenciális felhasználóknak, a textilipar különböző területein dolgozó, más szálakkal kapcsolatban már bőséges tapasztalatokkal rendelkező szakembereknek az általuk feltehetően viszonylag kevéssé ismert politejsavról, ill. a szál fő jellemzőiről, felhasználási területeiről, egyes technológiáiról;

- tájékoztasson a jelenleg elérhető legfontosabb irodalmi forrásokról, segítve a további tanulmányokat.

A politejsav szállal kapcsolatos ismeretek alapvetően **három fő forrásból** származnak:

- *NatureWorks LLC* - web: A politejsav gyártásában – és ezen belül a szálgyártásban – az Egyesült Államok-beli NatureWorks LLC cég (korábban Cargill Dow Polymer LLC) uralja a világpiacot. Márkanévük az IngeoTM. A politejsav szálát ők vezették be, és fogadtatták el hivatalosan a megfelelő hatóságokkal 2002-ben, és azóta is óriási erővel végzik kutató-fejlesztő munkát. Piaci helyzetük olyan erős, hogy – a konkurenciától kevéssé tartva – más termékek gyártóinál lényegesen több és részletesebb technológiai információt tesznek közzé a polimert alkalmazók számára a honlapjukon (<http://www.natureworkslc.com/>). Az ott található ismeretek, adatok közlése a jelen összefoglalóban főleg; egyes témákban rövid vázlat vagy néhány adat szerepel a honlapról, de többnyire csak web-címeket tartalmazó utalás segít az elérhető információ megtalálásában.

- *Tudományos szakirodalom*: A politejsavról mint viszonylag új műanyagról – és még újabb szálról – évente egyre növekvő számú tudományos közlemény jelenik meg, hiszen sok még a feltáratlan probléma, ahogy volt ez valamennyi korábbi szintetikus szál karrierjének kezdetén. A cikkek mondanivalójának ismertetése az elméleti alapokra fókuszál.

- *Egyéb – web*: Az új, környezetbarát szintetikus szál iránt nagy az érdeklődés, ez a világhálón is érezhető. Az összefoglaló – szemléltetesként – néhány ilyen közleményre is utal.

Cikkünk **felépítését** tekintve

- a politejsavval kapcsolatos legfontosabb alapismeretek (kémiai felépítés, degradáció, környezetbarát műanyag) összegzése után

- a száljellemzők, a polietilén-tereftaláttal való összehasonlítás,

- valamint az alkalmazások és a szállal kapcsolatos különböző technológiák következnek.

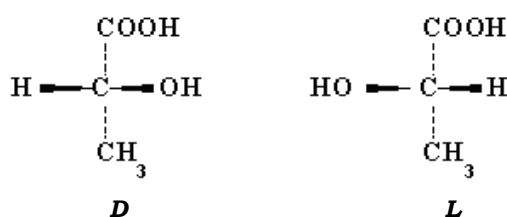
2. A politejsav kémiai alapjai

(Farrington *et al.*, 2005, Gupta *et al.*, 2007)

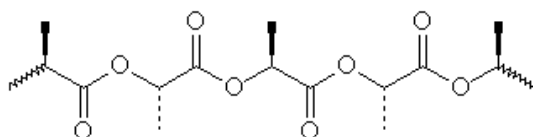
A politejsav meghatározó tulajdonságai a polimer **felépítése** és **degradációja**. A szál alkalmazásához is elengedhetetlen a szálal alkotó polimer alapvető kémiai jellemzőinek ismerete.

2.1 A politejsav kémiai felépítése

A tejsav 2-hidroxi-propánsav, a természetben pl. az emlősök izommunkája során képződik (izomláz), az élelmiszer-feldolgozásban is szerepe van (pl. joghurt), ill. iparilag növényekben előforduló szénhidrátokból fermentáció útján, tejsavbaktériumokkal állítható elő. A molekula tartalmaz egy királis centrumot, ezért két optikai izomerje van (1. ábra). Az *L* izomer jobbra, a *D* izomer balra forgatja a polarizált fényt. A fermentációban 99,5 %-ban az *L* izomer keletkezik. Természetesen előállítható tejsav petrokémiai alapon is, ilyenkor a kétféle módosulat 50-50 %-os (racém) elegye jön létre.



1. ábra. A *D* és *L* tejsav képlete



2. ábra. A politejsav képlete

A politejsav olyan alifás poliészter, amelyben a sav- és alkohol komponens ugyanabból a molekulából származik, így polikondenzációval egyféle monomert tartalmazó láncmolekula épül fel (2. ábra).

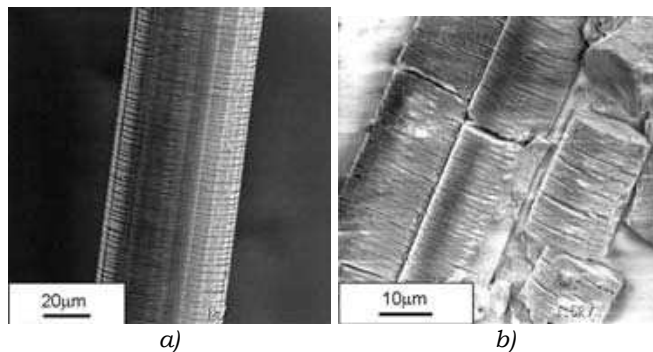
A polimerizációs reakció során az *L* és *D* izomer aránya viszonylag tág határok között szabályozható, és ezzel különböző tulajdonságú termékek nyerhetők. Ha a *D* izomer aránya a polimerben relatíve nagy (> 20 %), a termék amorf, míg ha kevés (< 2 %), a termék erősen kristályos (Gupta *et al.*, 2007).

2.2 A politejsav degradációja (újrahasznosítás, komposztálás)

A politejsav – mint poliészter – érzékeny a hidrolízisre.

A teljes degradációhoz megfelelő körülményekre van szükség, amelyeket a polimer alapanyagának **újrahasznosítása, ill. komposztálása** során meg kell teremteni.

Az izomerek szerepe a degradációban: A politejsav víz és megfelelően nagy hőmérséklet hatására hidrolizálódik. A degradáció mértéke függ a politejsavat felépítő izomerektől: az *L* izomert tartalmazó politejsav könnyebben hidrolizálódik, mint a két izomert egyenlő arányban tartalmazó racém politejsav (3. ábra) (Tanaka *et al.*, web 2010).



3. ábra Politejsav szál károsodása desztillált vízben 95 °C-on, 25 óra után

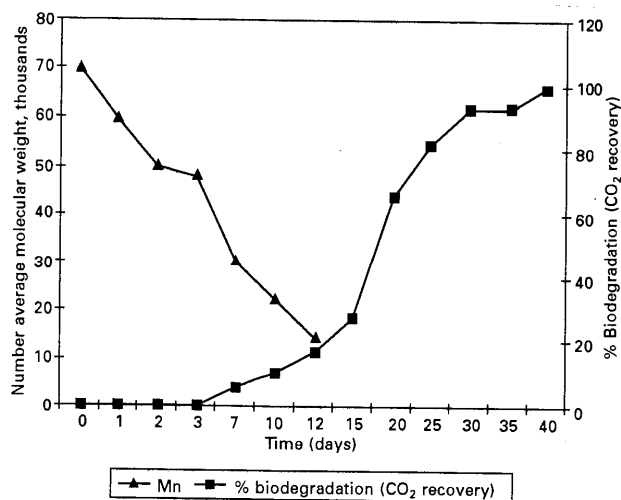
a) Sztereokomplex (racém) politejsav b) *L* politejsav (Tanaka *et al.*, web 2010)

Az emberi szervezetbe beépítendő speciális politejsav szál (pl. felszívódó varrófonal) degradációja – az enyhe körülményeknek és a kívánt gyógyulási folyamatnak megfelelően – lassú. A degradációs termékek nem toxikusak, a szervezet feldolgozza azokat. A politejsav szál alkalmazása a biomedicinából indult.

A politejsav nemkívánatos degradációja is bekövetkezik, elsősorban a szálgyártás, de egyéb műveletek során is – ez a gyártás természetes velejárója (l. pl. 7. fejezet), amit a technológiában figyelembe vesznek. Tehát – más szintetikus szálakhoz hasonlóan – fontos a gyártási és felhasználási előírások betartása.

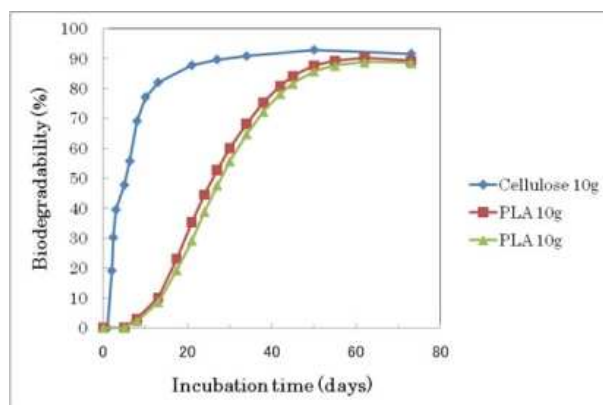
Újrahasznosítás: A hidrolízist savak katalizálják. A keletkező oligomerek, ill. a monomer a politejsav gyártási folyamatba visszavezethető (recikálható), vagy más vegyi célra felhasználható.

Komposztálás: A hidrolízis során keletkező kisebb fragmenseket, ill. a tejsavat aerob és anaerob baktériumok vízzel és szén-dioxiddal, kisebb mértékben humuszszá alakítják (Farrington *et al.*, 2005, Bioplastics Magazine, 2009). Ehhez megfelelő körülményekre van szükség, a házi komposztálás feltételei között a degradáció lassú. 60 °C-on, 95 % relatív légnedvesség esetén a politejsav móltömege két hét alatt az eredeti érték 20 %-ára csökken (4. ábra) (Farrington *et al.*, 2005).



4. ábra. A szám szerinti átlag molekulatömeg (M_n) csökkenése és a szén-dioxid felszabadulása politejsav komposztálásakor (60 °C-on, 95 % relatív páratartalom) az idő (napok) függvényében (Farrington *et al.*, 2005)

Vizes körülmények között, 55 °C-on iszapban végzett degradációs kísérletek szerint a PLA 90 nap után a cellulózzal azonos arányban (90 %) degradálódik (5. ábra) (Yagi *et al.*, 2009),



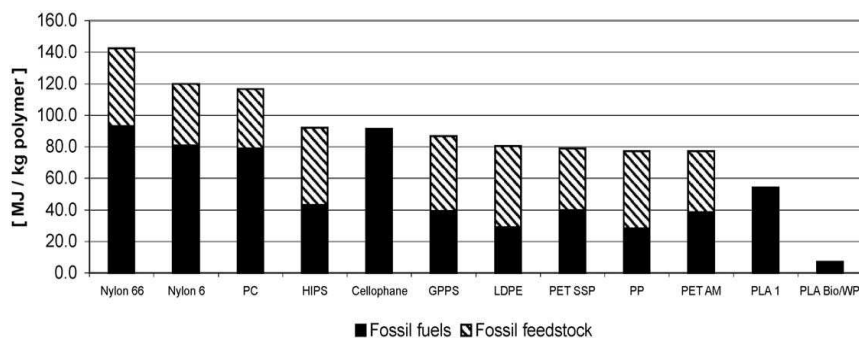
5. ábra. Cellulóz és PLA degradációja az inkubációs idő (napok) függvényében (Yagi *et al.*, 2009)

3. A politejsav mint környezetbarát műanyag

A politejsav alapanyaga (a tejsav) **megújuló növényi alapanyagból** (kukorica, búza stb.) készül, a polimer (természetesen a monomer is) **biokompatibilis** (a szervezetbe beépíthető, felszívódik), **a természetben szén-dioxidra és vízre bomlik** (l. 2. fejezet). A politejsav összességében tehát **széndioxid-semleges**: lebomlásakor annyi szén-dioxid keletkezik, amennyit a gyártásához használt növények életük során fotoszintézissel megkötöttek.

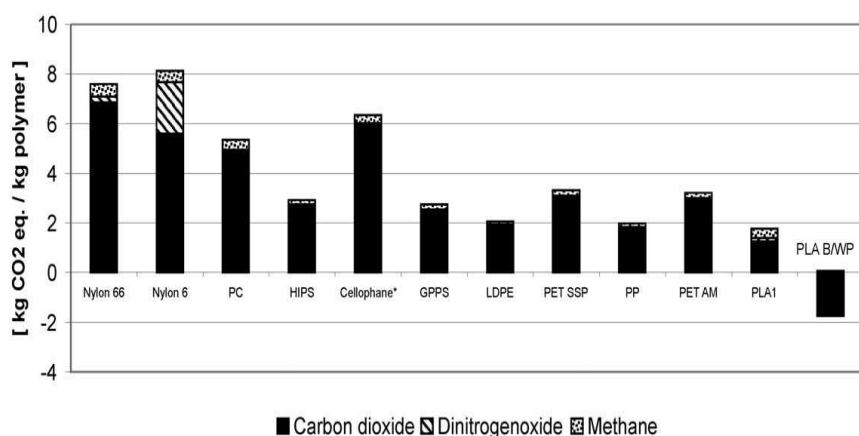
A politejsav a fenntartható fejlődés szempontjából kiemelkedően fontos, mert

- megújuló növényi alapanyagból készül,
- életciklusa során a többi műanyaghoz képest kevesebb fosszilis anyagra és vízre van szükség, kevesebb káros, globális felmelegedést okozó gáz szabadul fel,
- a természetben lebomlik.



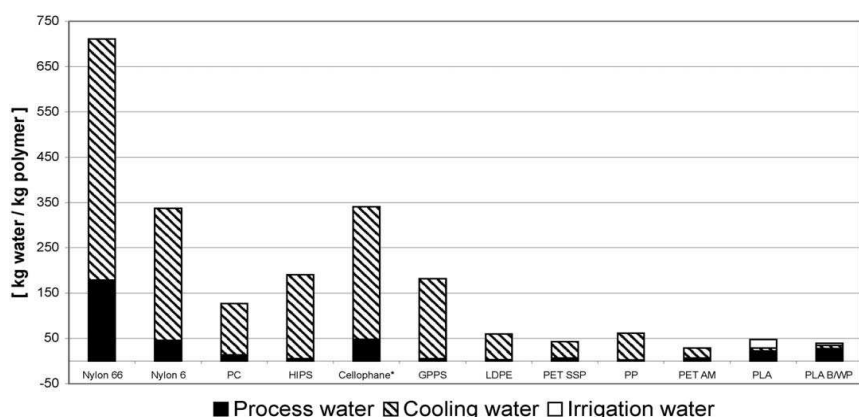
6. ábra. Néhány műanyag olajigénye üzemanyag (fossil fuels) és nyersanyag (fossil feedstock) céljára (Vink et al., 2003)

PC = polikarbonát, HIPS = nagy teljesítményű polisztirol, GPPS = közönséges polisztirol, LDPE = kis sűrűségű polietilén, PET SSP = polietilén terftalát, szilárd fázisú polimerizációval (palack céljára), PP = polipropilén, PET AM = polietilén tereftalát, amorf (film és szál céljára), PLA1 = első generációs politejsav, PLA Bio/WP = biomasszából, szélenergia felhasználásával készülő politejsav



7. ábra. A globális felmelegedést okozó gázok (szén-dioxid, dinitrogén-oxid, metán) kibocsátása egyes műanyagok és kétféle PLA esetén (Vink et al., 2003)

PC = polikarbonát, HIPS = nagy teljesítményű polisztirol, GPPS = közönséges polisztirol, LDPE = kis sűrűségű polietilén, PET SSP = polietilén terftalát, szilárd fázisú polimerizációval (palack céljára), PP = polipropilén, PET AM = polietilén tereftalát, amorf (film és szál céljára), PLA1 = első generációs politejsav, PLA Bio/WP = biomasszából, szélenergia felhasználásával készülő politejsav



8. ábra. A teljes vízfelhasználás (gyártás, hűtés, öntözés) egyes műanyagok és kétféle PLA esetén (Vink et al., 2003)

PC = polikarbonát, HIPS = nagy teljesítményű polisztirol, GPPS = közönséges polisztirol, LDPE = kis sűrűségű polietilén, PET SSP = polietilén terftalát, szilárd fázisú polimerizációval (palack céljára), PP = polipropilén, PET AM = polietilén tereftalát, amorf (film és szál céljára), PLA1 = első generációs politejsav, PLA Bio/WP = biomasszából, szélenergia felhasználásával készülő politejsav

3.1. Megújuló növényi alapanyag

A mezőgazdasági termékek felhasználása nem veszélyezteti az élelmiszer- és takarmányellátást, nem okoz ezen a téren áremelkedést, hiszen pl. a legnagyobb politejsav termelő ország, az USA kukoricatermelésének 0,5 %-a fordítódik erre a célra. Hasonló módon a magyarországi búzatermelésnek is csak kicsi töredéke jutna a tejsavgyártásra, ráadásul erre a célra az emberi és/vagy állati fogyasztásra alkalmatlan – máskülönben étetés-sel megsemmisítendő – fertőzött növény is megfelelő.

3.2 A politejsav életciklus analízise (LCA)

A politejsav okozta összes környezeti terhelés (fosszilis energiafelhasználás, globális felmelegedést okozó gázok kibocsátása, vízigény) kisebb, mint a többi műanyagé. A terhelés mértéke függ a politejsav-előállítási technológiától is. A következő ábrákon ennek megfelelően kétféle PLA érték (a legnagyobb és a legkisebb) van feltüntetve.

a) A fosszilis anyagokat (olaj, gáz) a politejsav gyártás sem nélkülözheti, de csak energia célokra van rá szükség, így más mesterséges szálakhoz viszonyítva lényegesen kevesebb a fosszilis anyag igénye (6. ábra) (Vink et al., 2003).

b) A globális felmelegedést okozó gázok (szén-dioxid, metán, dinitrogén-oxid) termelődése terén is előnyös a politejsav (7. ábra) (Vink et al., 2003).

Megjegyzendő, hogy az Éghajlat-változási Kormányközi Testület (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPPC) a térfogatra nézve három legnagyobb mennyiségű üvegház-hatást okozó gáz globális felmelegedést okozó potenciálját – a szén-dioxidra vonatkoztatva – a következő számokkal jellemezte: szén-dioxid: 1, metán: 21, dinitrogén-oxid: 310 (IPPC, 1995).

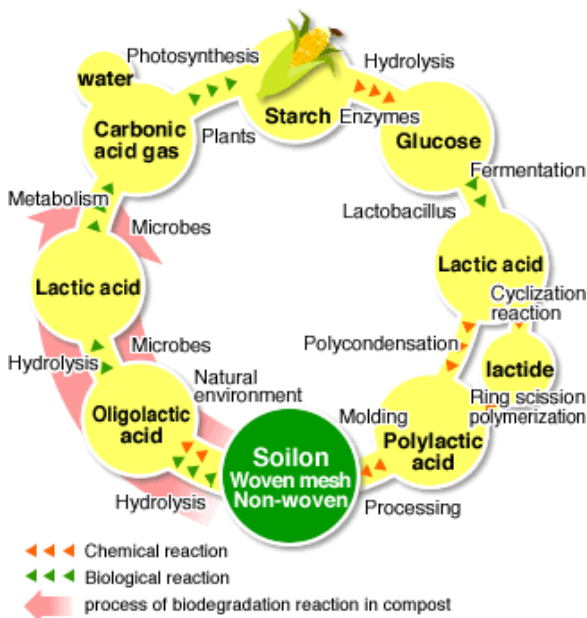
c) A teljes vízigényről azt gondolhatnánk, hogy a vízigényes növényi alapanyag miatt a PLA ebben az esetben rossz mutatókkal rendelkezik, de a PLA vízfelhasználás szempontjából is rendkívül előnyös (8. ábra) (Vink et al., 2003).

3.3 Lebomlás a természetben

Lebomlásához nincs szükség fényre, mint a kémiailag UV sugár-

zásra érzékeny és ezzel lebomlóvá tett polipropilénnek, tehát a komposztálás körülményei között is lebomlik.

Természetből a természetbe: A szén-dioxiddá komposztálás során a növény fejlődésekor fotoszintézissel megkötött szén-dioxid szabadul fel, bezárul a „szén-dioxid hurok” (Farrington *et al.*, 2005), ezt szemlélteti a 9. ábra (Yamanaka, web 2010):



9. ábra. A tejsav, ill. a szén-dioxid körforgása (Yamanaka, web 2010)

Az óramutató járásának megfelelően: A kukorica (vagy egyéb) keményítőtől enzimek segítségével cukrot készítenek, melyet tejsavbaktériumok tejsavvá alakítanak. A tejsavból különböző műveletekkel politejsavat gyártanak, és termékeket hoznak létre. A politejsav termékek – felhasználásuk során vagy elhasználódásuk után – a talajba kerülve természetes körülmények között hidrolizálódnak, a molekulatömeg csökken, ún. oligomerek keletkeznek, melyeket a mikrobák tovább bontanak tejsavvá, amely a mikrobák táplálékául szolgálva, azok anyagcseréje során szén-dioxiddá és vízzé alakul. A szén-dioxid fotoszintézis útján beépül a növénybe, és keményítő keletkezik.

4. A politejsav mint új szál-alapanyag, szálosztályozás

A politejsav új szintetikus szálképző polimer. A szintetikus szálak megjelenése óta a poliészter (polietilén-tereftalát, PET), a különböző poliamid (PA), a poliakrilnitril (PAN) és a polipropilén (PP) szálak találhatók széleskörű alkalmazásra; közülük is kiemelkedően magas a PET aránya, míg a PAN jelentősége viszonylag kicsi. Az utóbbi néhány évben ipari méretekben is megjelent új polimernek, a politejsavnak (polylactic acid, PLA) jó esélye van arra, hogy rövid időn belül betörjön a nagy mennyiségben használt szintetikus szálak közé.

A politejsavat a poliamidot is feltaláló Carothers munkássága alapján a Dupont szabadalmaztatta 1932-ben, de az akkori kis molekulatömegű polimer szálgyártásra alkalmatlan volt. A fejlesztés akkor az aro-

mas poliészterek (polietilén-tereftalát, PET) felé fordult – sikerrel. Kereskedelmi forgalomba kerülő politejsav szálát elsőként 2002-ben a Cargill Dow cég (USA) vezette be, jelenlegi gyártója a cég utódja, a NatureWorks LLC (Fibersource, 2010, NatureWorks LLC, web 2010, 2010j).

A szálak osztályozásában világszerte az USA-beli Federal Trade Commission (FTC, Szövetségi Kereskedelmi Bizottság) hivatalos definícióit használják. A politejsav kémiaiilag poliészter, de a politejsav szál ebben az osztályozásban a mesterséges szálak között – a megújuló nyersanyag és a komposztálhatóság miatt – 2002 januárjában teljesen új generikus nevet kapott: PLA.

A politejsav szál az FTC definíciója szerint olyan mesterséges termék, amelynek **szálképző anyaga legalább 85 %-ban természetes eredetű cukrokból származó tejsav észter**. Az osztályozás szerint a „poliészter” név aromás komponenst tartalmazó poliésztert (PET) jelent (FTC, 2002).

A polimer *termoplasztikus*, a szál olvadékból és oldatból is előállítható. A már évtizedek óta használt szintetikus szálak alkalmazásában óriási tapasztalatok halmozódtak fel (1953 óta gyártanak PET szálát!) – a PLA szál jellemzőit csak most tanulja a szakma, elsősorban a PLA gyártásában élenjáró USA-beli cég, a NatureWorks jóvoltából. Több más cég is gyárt politejsavat különböző célokra (pl. Kanebo, Shimadzu Corp, Mitsui Chemicals, Musashino Co) (Gupta *et al.*, 2007), Futero (Bioplastics Magazine, 2010 03b), Unitika (Choi *et al.*, 2007).

A tudományos irodalomban évente egyre több cikk jelenik meg a politejsav szálról, már irodalmi összefoglalókkal is találkozhatunk (Dugan, web 2010, Farrington *et al.*, 2005, Gupta *et al.*, 2007, Lim *et al.*, 2008).

A szálakkal foglalkozó nemzetközi fórumok is egyre gyakrabban és részletesebben mutatják be az új szálát (Dan, 2007, Childs, 2007, Fiber2fashion, 2009, Hernandez, 2009, Kelley, web 2010).

5. A politejsav szál ill. kelme fő jellemzői

(Dugan, web 2010, Fibersource, web 2010, Farrington *et al.*, 2005, Gupta *et al.*, 2007)

- Üvegesedési és olvadási hőmérséklete kisebb, mint a PET-é. Üvegesedési hőmérséklete 60-70 °C, olvadáspontja jellemzően 150-170 °C, a sztereoizomerek arányától függően 130-220 °C lehet (kisebb D izomer tartalmak esetén: 10. ábra)

- Kicsi a sűrűsége, ami a többi szálnál könnyebbé teszi.

- UV sugarakkal szemben ellenálló (szabadidő ruhák, kerti bútor, ponyva), szilárdságvesztése minimális, szemben az olajbázisú műszálakkal.

- Kicsi a nedvességhelvétele, nagy a nedvszívó képessége (sport-, munka-, szabadidő ruházat).

- Kevéssé éghető, égésekor kevés füst képződik (függöny, kárpit) (11. ábra).

- Végtelen szál (filament) és vágott szál formájában egyaránt alkalmazható.

- Jó a terjedelmesíthetősége és az alaktartása.

- Terhelés-nyúlás görbéje a gyapjúéhoz hasonló (kicsi a modulusza) (12. ábra).

- Jó a fogása, esése, rugalmassága, kellemes viselet önmagában vagy keverékben; könnyen kezelhető.

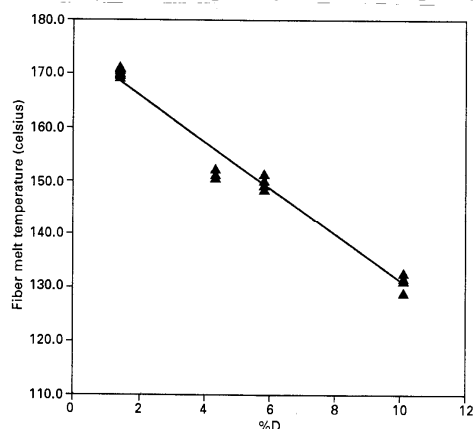
- Refrakciós indexe¹ kicsi, ami mélyebb és ragyogóbb színeket eredményez.
- Diszperziós színezékekkel színezhető.
- Kevéssé szennyeződik, a szennyeződést könnyen elereszti.

- A vegytisztítás oldószerei nem károsítják.
- Hő- és hidrolízis-érzékeny, nagyobb mértékben, mint a PET, más szintetikus szálakhoz hasonlóan megfelelő gyártási és kezelési technológiát kell alkalmazni.

- Kopásállósága viszonylag gyenge

A szálfelhasználás szempontjából fontos speciális jellemzői a szálhúzás és a kelmekezelés során meghatározó **olvadáspontja** (10. ábra), a kelme hőregztése és kezelése miatt lényeges **üvegesedési hőmérséklete** (11. ábra), az **éghetősége** (12. ábra), a **mechanikai tulajdonságai** (13. ábra) és a **hidrolízis(degradáció)-érzékenysége** (l. 2. 2 fejezet),

Az olvadáspont függ a politejsav sztereo-izomer összetételétől: a D-izomer jelenléte az L izomer mellett olvadáspont csökkenést okoz (10. ábra) (Farrington *et al.*, 2005). Tanaka és munkatársai szerint (Tanaka *et al.*, web 2010) a racém politejsav olvadáspontja 220 °C.



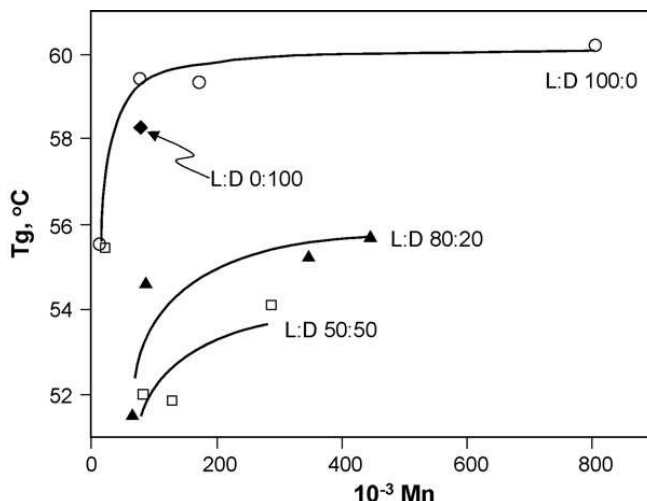
10. ábra. A politejsav szál olvadáspontjának változása a D izomer arányának függvényében (Farrington *et al.*, 2005)

Az üvegesedési hőmérséklet is függ az izomerek arányától, továbbá – természetesen – a molekulatömegtől (11. ábra) (Dorgan *et al.*, 2002, Lin *et al.*, 2008).

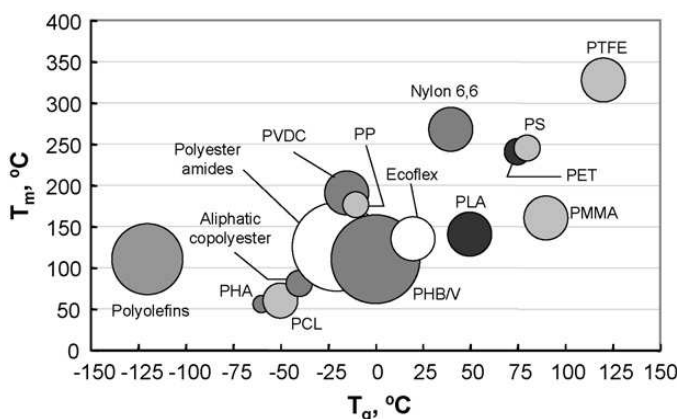
Az üvegesedési hőmérséklet és az olvadáspontja közötti összefüggés – több termoplasztikus polimerével összehasonlítva – a 12. ábrán (Lim *et al.*, 2008) látható: szembevetve, hogy a hőregztés hőmérsékletének a PET-énél kisebbnek kell lennie.

Égésekor önkiloitó [égéséhez nagyobb arányú oxigénre (26 %) van szüksége a környező levegőelegyből, mint a levegő oxigéntartalma (22 %)], és lényegesen kevesebb füst képződik, mint PET égésekor, sőt, valamivel még a pamutnál is kevesebb füst generálódik (13. ábra), ami a mentést könnyebbé teszi (a lecsöpögő olvadék természetesen veszélyes).

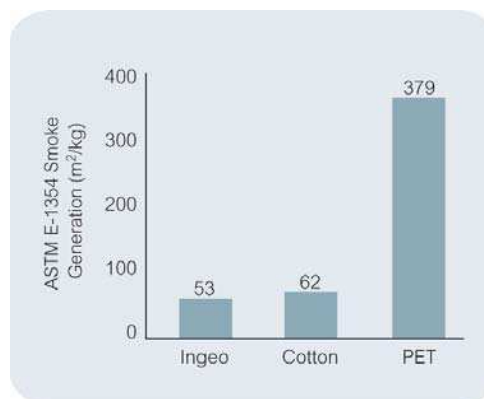
Szakítási görbéje (14. ábra) – bár a politejsav poliészter – jelentősen különbözik a PET-étől, inkább a gyapjúéhoz áll közel, vagyis relatíve nagy a nyúlása és kicsi a szakítószilárdsága. A 2 %-os nyúláshoz tar-



11. ábra. Az üvegesedési hőmérséklet függése az izomerek arányától (L:D) és a szám szerinti molekulatömegetől (Mn) (Dorgan *et al.*, 2002, Lin *et al.*, 2008)



12. ábra. A politejsav és más termoplasztikus polimerek olvadáspontja (T_m) és üvegesedési hőmérséklete (T_g) közötti összefüggés (Lim *et al.*, 2008)

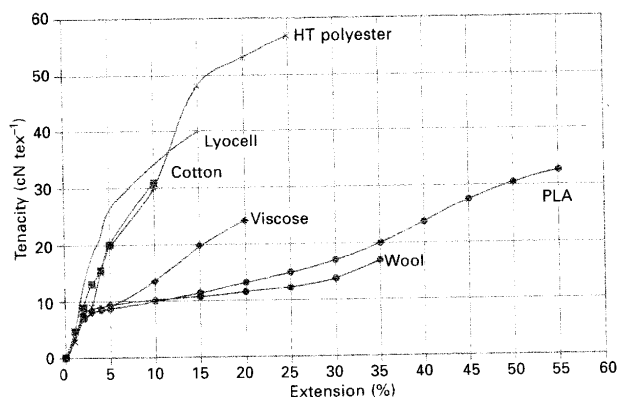


13. ábra. A politejsav (Ingeo™), pamut és poliészter szál égésekor keletkezett füst mennyisége (NatureWorks LLC, 2010)

tozó kezdeti modulusza sok egyéb száléval megegyezik, de a folyáspont (akárcsak a gyapjúé) nagyon határozott, ezen értéken túl a szál nagyon könnyen nyújtható.

¹ A fény sebessége vákuumban/a fény sebessége a vizsgált anyagban.

A nagy nyúlás következtében a szakítási munka² nagy, ami a szál alkalmazásában előnyös (Farrington *et al.*, 2005).



14. ábra. A politejsav szál terhelés-nyúlás görbéje egyéb szálakkal összehasonlításban (Farrington *et al.*, 2005)

A rugalmas visszaalakulás 2 %-nál kisebb nyúlásig majdnem teljes (99,2 % ± 0,75 %), 5 % nyúlás esetén 92,6 % ± 1,6 %, ami nagyobb érték, mint a legtöbb egyéb szálé (Farrington *et al.*, 2005).

A szál keverhetőségét más szálakkal a rugalmas viselkedés befolyásolja: A politejsav szál cellulóz alapú szálakkal (pamut, Lyocell) jól keverhető, de a szálak kevésbé dolgoznak együtt, mint a terhelés hatására a hozzá hasonlóan viselkedő gyapjúval készült keverékben, ahol mindkét szál tulajdonságai remekül kiaknázhatók (Farrington *et al.*, 2005).

A hidrolízis-érzékenység a komposztálásnál előnyös, a felhasználás (szálképzés, kelmekezelés) során veszélyeket jelent, ezért körütekintően kell eljárni. Szálképzés előtt a polimert alaposan szárítani kell. (Mikroszálak előállításakor a kioldandó komponens számára a könnyen hidrolizálódó, kis molekulatömegű PLA ideális.) – A kelmén végzett nedves műveletek során a polimer molekulatömege csökken. A tárolás egy éven át 40 °C-on 80 % relatív légnedvességű térben további móltömeg-csökkenést okoz. A jelenséget a lágyítók (softener) súlyosbítják. A valósághoz közelebb álló tároláskor, 23 °C-on 50 % légnedvességű térben egy év alatt nem volt szignifikáns változás még lágyítók jelenlétében sem (Avinc *et al.*, 2010) (l. még: 8. fejezet).

6. Poliészter szálak: a PLA és a PET összehasonlítása

(Buckley *et al.*, 1998, Dartee *et al.*, 2001, Lunt, 2000, Mayberry és Franken, 2002, Goswami *et al.*, 2004, Farrington *et al.*, 2005)

Összefoglalóan elmondható, hogy a politejsav (PLA) mint poliészter nagyon sok tulajdonságában a polietilén-tereftaláthoz (PET) hasonlít, jelentős különbség köztük a következő néhány jellemzőben van:

A politejsav

- nedvességfelvevő képessége kicsit nagyobb, mint a PET-é (kb. a poliamidoké),

² A szál elszakadásához szükséges munka (work of rupture): a szakítógörbe alatti terület (munka = erő × út)

- színezhetősége: mindkét szál diszperziós színezékekkel színezhető, a PLA színe mélyebb (a színezés részletesebb összehasonlítását l. a 8. fejezetben),

- fogása, esése, gyűrődésfeloldása jobb, mint a PET-é,

- hő- és hidrolízisérzékenysége nagyobb, mint a PET-é.

A PET és a PLA néhány jellemző adata az 1. táblázatban látható.

1. táblázat.

A politejsav és a polietilén-tereftalát jellemzőinek összehasonlítása

Tulajdonság	PET	PLA
Nyersanyag	Olaj alapú	Növényi alapú
Sűrűség (g/cm ³)	1,34	1,25
Nedvesedés	Jó nedvsszívás	Jobb nedvsszívás
Vízfelvétel levegőből (%)	0,2-0,4	0,4-0,6
Olvadáspont (°C) (PLA: L/D arány függő, l. 10. ábra)	250-260	160-170 (130-220)
A láng elvétele utáni égés (min)	6	2
LOI ³ (%)	22	26
füstképződés ⁴ (m ² kg ⁻¹), l. 12. ábra	394	63
Rugalmasság – visszaalakulás 10 % nyújtás után (%)	51	64
Gyűrődésfeloldás	Jó	Kiváló
Esés/fogás	Gyenge	Jó
Fény	Közepes-kicsi	Nagy-kicsi

7. A politejsav szál és kelme alkalmazásai

(Farrington *et al.*, 2005, NatureWorks LLC, 2010a, i)

A politejsav szál, ill. a belőle készült kelme (lap) előnyösen alkalmazható

- ruházati,
- lakástextil,
- műszaki-mezőgazdasági és
- gyógyászati célra.

Az alkalmazásokra részletes példákat találunk a Bioplastics Magazinban (2007-2010). PLA szálból papír gyártására is történt kísérlet (Bioplastics Magazine 2010 03a).

7.1 Ruházat

A politejsav szálból (**Lactron™**) és annak keverékeiből készült ruházati termékeket először a Kanebo cég mutatta be a naganoi téli olimpián (1998), majd 2002-ben a Cargill Dow LLC (ma NatureWorks LLC) előterjesztésére hivatalosan elismerték az új száltípust (FTC, 2002) (l. 4. fejezet). 2003 óta gyártják **Ingeo™** néven a politejsav szálát. A név az **„ingredient”** (alapanyag) és a **geo** (föld) szavakból származik, és a szál természetes

³ LOI (limiting oxygen index). Az oxigén-nitrogén gázelegy minimális oxigéntartalma, amely a függőleges helyzetben levő, alján meggyújtott minta (textília) továbbégéséhez szükséges. Nagyobb LOI érték nagyobb lángállóságot jelent.

⁴ Füstképződés: 1 kg anyag elégekor keletkezett füst által átláthatatlanná tett felület (a tűzből való menekülés és a tűzoltás szempontjából fontos mérőszám). Kisebb szám kisebb veszélyt jelent égéskor.

eredetére utal. A NatureWorks – amely honlapján az „ingenious” (szellemes, ötletes) szót is összefüggésbe hozza az Ingeo névvel – a mai napig uralja a politejsav szál piacot (l. előbb).

A **filamens fonalból készült kelme** hűvös tapintású, esése – a szál rugalmasságából következően – kiváló. Az 1,2 den szálból készült kelme esése a PET mikroszálból készült kelméhez (0,7 den) hasonló.

A **vágott szálból készült kelme** természetes karakterű, a pamuthoz hasonló.

Viselési kényelem szempontjából kiváló: közvetlenül a bőrön viselt ruházatnak is megfelelő, jól szállítja a nedvességet. A nedvszívó képesség a szál sajátja, nincs szükség hidrofíll kikészítőszere, így a nedvszívó képesség természetesen mosásálló. A Hohenstein intézet komplex vizsgálata (nedvesség-szállítás, légzőképesség, hőszigetelés, izzadság-megkötő képesség) alapján a politejsav/pamut keverék kelme viselési komfortja jobb, mint a poliészter/pamut keveréké. Sport-, munka- és szabadidő ruházatnak kiválóan alkalmas. (Bioplastics Magazine 2010 01).

Megjelenése – a polimer kis sűrűségénél fogva – könnyű, elegáns; rugalmassága miatt formatartó és jó a gyűrődéssel szembeni képessége.

Könnyen kezelhető, megfelelő kezelési utasítás alkalmazandó: a szennyet könnyen elereszti, mosás után simára szárad. Vasalási igény esetén a polészternél kisebb hőmérsékleten vasalható. A szintetikus kelménél szokásos, 40 ° C-on végzett mosás ajánlott. Degradálhatósága miatt felvetődik a mosás során bekövetkező károsodás kérdése. 40 ° C-on végzett öt mosás után a vetülék irányú méret nem változott, hosszirányban 4 % zsugorodás volt mérhető, a szám szerinti átlag polimerizációs fok 57700-ról 56300-ra csökkent, ami a repesztő nyomás kismértékű csökkenésével jár együtt (57 Ncm⁻² értékről 52 Ncm⁻²-re).

A politejsav kelme gyártásának technológiai lépései nem igényelnek speciális berendezéseket. Néhány technológia kérdés részletesebben a 8. és 9. fejezetben található.

7.2 Lakástextília

Párna, paplan, takaró, matrac, matracfedő, függöny, bútorkárpit, falikárpit, terítő, fénnyvédő ernyő, autókárpit (Bioplastics Magazine 2009 05a) stb. készülhet politejsav szálból. (Bioplastics Magazine, 2009 05).

Nedvszívó képessége miatt párnatölteléknek kiváló. *Az éghetősége* is kedvező erre a célra: LOI értéke (24-28 %) a gyapjút kivéve minden szálanyagénál nagyobb, meggyulladás után rövidebb ideig ég. *Az UV sugárzás kevésbé károsítja*, mint a PET-et és a PAN-t, ezért napfénynek kitett helyen előnyösen alkalmazható.

7.3 Műszaki textília

A **műszaki textília fogalma:** összefoglaló név valamennyi nem ruházati és nem lakás (vagy annak megfelelő) célra használt textiliára. Jelentős részben nem szőtt textiliákról van szó (Woodings, web 2010, web 2010a, Wilson, 2009, Bioplastics Magazine, 2008 04, 2008 04a, Bhat et al., 2008), amelyeknél a jó nedvszívó képesség sokszor szintén kedvező tulajdonság.

A **személyes higiéniában, a háztartásban és az iparban használatos termékek:** egészségügyi betétek, pelenkák, kozmetikai törölközők, háztartási és ipari tisztítókendők, egyszer használatos szűrők, szabadtéri padlószőnyegek stb. (Bioplastics Magazine, 2008 04, 2008 04a, Bhat et al., 2008), teafilterek (Bioplastics Magazine, 2009 05b, Martinez, 2009). Ezekre a célokra hagyományosan többnyire természetes alapú (pamutlinter, facellulóz, viszkóz), szintetikus szálakkal kombinált vagy tisztán szintetikus termékeket használnak. A nagy mennyiségben használt, eldobható termékcsaláddal kapcsolatban a piac nagyon árérzékeny. Pusztán a környezetvédelmi megfontolások nem elegendőek a PLA termékek preferálásához a részben vagy egészben olajalapú termékekhez képest, ehhez a jelenleginél kisebb árakra, ill. megfelelő környezetvédelmi rendelkezésekre van szükség.

A **mezőgazdaságban** kiemelkedően előnyös a lebomlóképeség (Carus, Piotrowski, 2009, Bioplastics Magazine, 2007, 2008 04a); kötőanyagként, talajtakarásra, komposzttakarásra használható, politejsav nem szőtt textíliába növényi magok dolgozhatók be (pl. gyepetégla).

Szálerősítésű kompozitokban a politejsavat általában mátrixként próbálják alkalmazni (pl. Graupner et al., 2009, Bioplastics Magazine, 2010, Kamath et al., 2005). Amorf PLA lapok és kristályos PLA szálak összepréselésével azonos polimerből felépülő, ún. önerősítő („single polimer”) kompozitot állítottak elő. Az azonos polimer a termék későbbi recikálásakor különösen előnyös (Li és Yao, 2007).

7.4 Gyógyászat

A politejsavból vagy politejsav/poliglikolsav (hidroxiecetsav: HO-CH₂-COOH) keverékből készült fonalak pl. felszívódó sebvarró fonalként, inszalagpótlásként alkalmazhatók. Különlegesen vékony, ún. nanoszálakból⁵ készült szövetek emberi és állati sejtenyészetek támasztékaként (ún. „scaffold”) használhatók. Ezek a testbe beépülnek, majd idővel felszívódnak (pl. égési sérültek bőrsejtjeinek szaporítása, erek megerősítése stb.) (Gupta et al., 2007, Chen és Ma, 2004, François et al., 2009).

8. A politejsav szál gyártása

A **NatureWorks**, a fő gyártó honlapján (NatureWorks LLC, 2010a, b) a szálgyártás részleteiről, beleértve a terjedelmesítést is, nagyon sok felhasználói ismeret elérhető, hiszen a cég érdeke, hogy termékét minél többen vásárolják.

Politejsav szálát ömledékből, továbbá oldatból (kloroform és/vagy toluol) száraz eljárással, oldatból nedves eljárással (kicsapás kloroform/etanol elegyben), nanoszál elektrosztatikus szálképzéssel lehet előállítani (Gupta et al., 2007, Lim et al., 2008).

Gyakorlati jelentősége

- az ömledékből való szálhúzásnak és
- a nanoszálaknak van.

⁵ Nanonak nevezzük – definíció szerint – azt az egységet, amelynek legalább egyik mérete (szál esetében a 3 dimenzió közül kettő) 100 nanométer (0,1 µm) vagy annál kisebb. Összehasonlításként megjegyzendő, hogy pl. a pamutszál átmérője 10-15 µm, a pókselyemé 3-4 µm, tehát a nanoszál vastagsága egy pamutszál vastagságának kb. egy százada, egy pókfonalénak kb. egy harmincada.

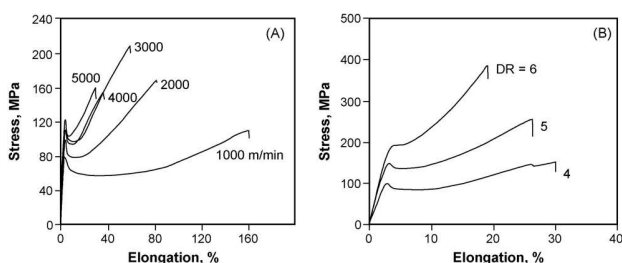
8.1 Szálgyártás ömledékből

Szálgyártás ömledékből: A hidrolízis-veszély miatt a granulátum víztartalma nem lehet nagyobb, mint 400 ppm, amelyet a szálgyártás során 100 ppm-re csökkentenek. Az alkalmazott hőmérséklet 185-240 °C, **a feldolgozás hasonló a poliolefinéhez.** A D-izomer tartalom csökkenti a szükséges hőmérsékletet (10. ábra), és ezzel a termikus és hidrolitikus degradáció veszélyét. A szálhúzást általában két lépésben végzik: az olvadékból képződött szálát először lehűtik, majd második lépésben felmelegítve nyújtják (Farrington *et al.*, 2005, Lim *et al.*, 2008).

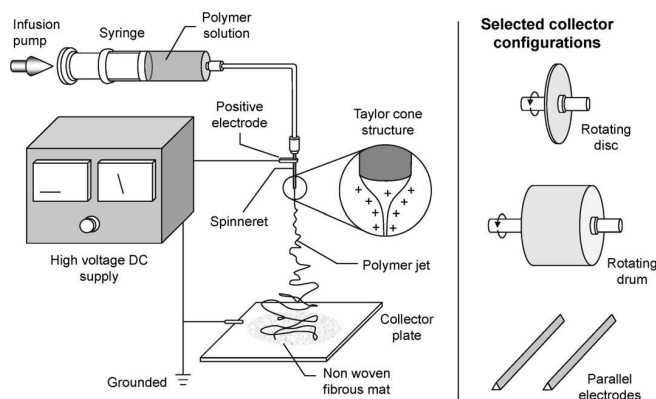
Szupermolekuláris szerkezet: Más szintetikus szálakhoz hasonlóan ebben az esetben is úgy találták, hogy szálképzéskor a láncmolekulák rendeződésével mikrofibrillák alakulnak ki, amelyek az amorf közegben szigetként helyezkednek el, és nyújtáskor a szál irányában orientálódnak. Nyújtáskor a szál kristályossága nő és határértékhez tart, ami 35 %-nak adódott (Cicero *et al.*, 2002, Gupta *et al.*, 2007).

A **nyújtás mértékétől függően** részlegesen vagy teljesen orientált szálakat kapnak (POY: partially oriented yarn – részlegesen orientált szál, FOY: fully oriented yarn – teljesen orientált szál, FDY: fully drawn yarn – teljesen nyújtott szál). A szálképzést és a nyújtást végezhetik egy lépésben is (SDY: spun drawn yarn – nyújtva húzott szál) (Murase, 1998).

Ömledékből akár 5000 m/perc sebességgel is húznak szálakat, maximum hatszoros nyújtással. A nagy sebesség veszélye az egyenlőtlen szál. A szál mechanikai jellemzői természetesen jelentős mértékben függenek a szálhúzás sebességétől és a nyújtási aránytól (15. ábra) (Schmack *et al.*, 1999, Lim *et al.*, 2008).



15. ábra Politejsav szál szakító (feszültség – nyúlás) görbéi különböző szálhúzási sebesség (m/min) és nyújtási arány (DR) esetén (Schmack *et al.*, 1999, Lim *et al.*, 2008)



16. ábra. Elektrosztatikus szálképző berendezés (Lim *et al.*, 2008)

Nagyobb molekulatömegű polimer és kisebb extrudálási hőmérséklet nagyobb moduluszt eredményez. A meleg szál nyújtása drámai szilárdságnövekedéshez vezet (Yuan *et al.*, 2001, Gupta *et al.*, 2007). A politejsav szál terjedelmesíthető is, pl hamis sodrattal (FTT: False twist texturised) (Suesat *et al.*, 2003), vagy húzás közben végezve a terjedelmesítést (DTY: drawn textured yarn) (NatureWorks, web 2010b).

Reaktív extrudálás: Különböző izomer-összetételű politejsavakból, ill. azok keverékéből kiindulva az extrúzó során állítottak elő többféle komplex politejsav terméket. Az így nyert szálak számos jellemzőjét sokféle paraméter befolyásolja. Schmack *et al.*, 2001, Furuhashi *et al.*, 2006). Ezeknek az eljárásoknak a gyakorlati hasznosításához feltehetően még nagyon sok kutatásra-fejlesztésre van szükség.

Degradáció: A kis kiindulási nedvességtartalom ellenére a polimer az őrlés, az olvadékból való szálhúzás és – kisebb mértékben – a nyújtás során degradálódik. Őrlés alatt 13,1-19,5 %, extrudálás hatására 39-69 %, nyújtáskor kb. 9,1 %-os polfok-csökkenést tapasztaltak. Nagyobb kiindulási mőtömeg esetén nagyobb veszteség várható. (Schmack *et al.*, 2004, Gupta *et al.*, 2007). A mőtömegekre vonatkozóan ad tájékoztatást, hogy szál céljára 120 ezer-220 ezer súly szerinti átlag mőtömegű (60 ezer-110 ezer szám szerinti átlag mőtömegű) politejsavat szabadalmaztattak (Kaijiyama *et al.*, 2009). A degradáció a szálhúzás egyik kulcskérdésének látszik. Egyik megoldásként a PLA granulátumot polipropilénnel keverve PLA-PP polimerkeverékekből állítottak elő szálakat. A PP jelenlétében – felelehetően a PP bevonó-védő hatása miatt – csökkent a PLA degradációja, míg a szál mechanikai jellemzői (szakítóerő, szakadási nyúlás) rosszabb volt, mint a tiszta polimerekből készült szálaké (Reddy *et al.*, 2008). A nem degradálható műanyaggal való keverés nem tűnik járható útnak.

Bikomponens kötőszálak: Nagy olvadáspontú PLA mag és kis olvadáspontú PLA köpeny alkalmazásával hő hatására külsején megolvadó, ún. kötőszálakat lehet kialakítani (Dugan, web 2010), amely önerősítésű („single”) kompozit előállítására is alkalmas lehet.

Kelme-képzés szálból: NatureWorks, web 2010 c, d, e).

8.2 Elektrosztatikus szálképzés – nanoszál

A polimer oldatából készítenek rendkívül finom szálakat. Az oldott polimert nagyfeszültségű elektromos-sággal töltik fel, ennek hatására a polimer oldat egy cseppje elindul a 0,1-1 mm átmérőjű tű nyílásán át. A csepp megnyúlik, ostorozó mozgást végezve elvékonyodik, és a nanoméretűvé vékonyodott szál megérkezik egy földelt fémlemezre; időközben az oldószer elpárolog (16. ábra) (Lim *et al.*, 2008, Smith *et al.*, 2007, Chen és Ma, 2004, François *et al.*, 2009).

Nanoszálakat ma már ipari méretekben is gyártanak (Donaldson, web 2010, Finetextech, web 2010, Elmarco, web 2010).

Figyelmet érdemel, hogy az Elmarco cég közel, Csehországban van.

9. Textilkémiai technológia

A textilkémiai technológia (a tágabb értelemben vett textilkikészítés) hagyományos lépései (előkészítés, fehérités, színezés, nyomás, kikészítés) közül a politejsav kelme **előkészítése** (hasonlóan sok szinte-

tikus száléhoz) viszonylag egyszerű, **színezésének** vannak **specialitásai**, a nyomás (helyi színezés) nem igényel külön figyelmet, a végső tulajdonságokat megadó **kikészítés** pedig sok lehetőséget rejt magába.

A politejsav szál sok jellemzőjében hasonlít a szintetikus szálakhoz, a kémiai technológiai műveletek mégis bizonyos speciális megfontolásokat igényelnek.

NatureWorks technológiák

A politejsav *szövet* standard kikészítési technológiája a következő (NatureWorks LLC, web 2010f):

- elő-hőrogzítás (a PET-nél kisebb hőmérséklet: 120-125 °C, 30-45 s),
- irtelenítés vagy mosás (pH: 4,5-7,5, hőmérséklet: max. 90 °C),
- színezés (20 °C-kal kisebb, mint a PET, kerrier („vivőszer”) nem szükséges, habzsgátló alkalmazása kerülendő),
- redukív tisztítás,
- utó-hőrogzítás (125-130 °C, 30-45 s),
- kikészítés (nedvesedés, lángállóság adott a szálban).

Kötött kelme esetén az első két műveletet fordított sorrendben célszerű elvégezni (NatureWorks LLC, web 2010g, h)

A **szakirodalomban** a standardnak tekinthető NatureWorks technológiákon kívül sok, és egyre gyorsabban növekvő számú kutatási eredmény található. A következőkben ezek összefoglalója található.

9.1 Előkészítés

Kiméletes fehérítés (TAED: tetraacetyl-ethylendiamin) javasolt (Farrington *et al.*, 2005). A standard előkészítésen kívüli műveletként a politejsav szál nedvesedő képességét és színezhetőségét enzimes előkezeléssel (lipáz) javították. Az enzimes kezelés terméke tejsav volt, a szál nem jelentős mértékben degradálódott (Fan *et al.*, 2008).

9.2 Színezés

A színezés a teljes kémiai technológiai folyamat meghatározó része, hiszen a kelme színe „adja el” a terméket, továbbá a színezés műveleti jelentősen befolyásolják a végtermék minőségét.

A politejsav szálát – más szintetikus szálakhoz hasonlóan – diszperziós színezékekkel lehet színezni. A NatureWorks természetesen ajánl színezési technológiát, a kutatásnak azonban még nagyon sok teendője van ezen a téren is.

A kutatás a kezdeti szakaszában van, több közlemény témája nagyszámú, PET-re alkalmazott diszperziós színezék egyszerű kipróbálása politejsav szálon, vagy a mosási technológiák összevetése.

A meglehetősen szerteágazó kutatási eredmények a

- szál tulajdonsága,
- a színezék – polimer kölcsönhatás,
- egyes technológiai lépések és
- a polietilén-tereftaláttal való összehasonlítás szerint csoportosíthatók.

A politejsav tulajdonságainak szerepe a színezésben és annak eredményében:

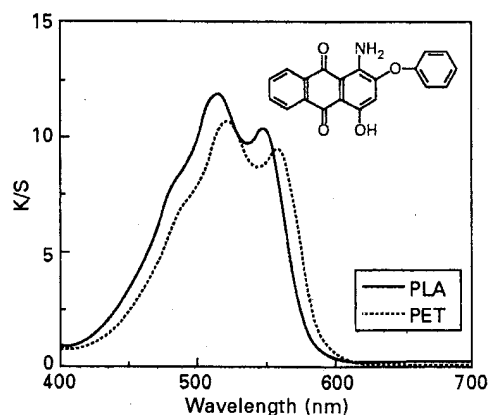
- Technológia: A politejsav hidrolízis-érzékenysége miatt a színezési körülmények csak viszonylag enyhék lehetnek: 110-115 °C, 30 perc, pH 5 (Farrington *et al.*, 2005);

- Színezékfelvétel: A polimer kristályossága befolyásolja a színezékfelvételt – kevésbé kristályos polimer több színezéket képes felvenni, tehát azonos körülmények között színezve a nagyobb D-izomer tartalmú (l. 10. ábra) politejsav jobban színeződik (Scheyer és Chiweshe, 2001, Farrington *et al.*, 2005, Blackburn *et al.*, 2006). Kristályos politejsav és komplex szín (fekete) esetén a színezék összetevői nem mind egyforma mértékben kötődnek meg a szálon, ez a végső szín jelentős eltolódását okozhatja (Blackburn *et al.*, 2006);

- Színmélység: A kis refrakciós index miatt kisebb színezéktartalmú politejsav szál színe lehet mélyebb, mint a nagyobb színezék tartalmú poliészteré, ezen belül a színezet és a króma értéke is nagyobb, ami ragyogóbb színt jelez (Yang és Huda, 2003, Choi és Seo, 2006, Choi *et al.*, 2007)

A színezék-polimer kölcsönhatás

- Szín: A színezékek elnyelési maximuma politejsav kelmén általában a kisebb hullámhosszak irányába tolódik el a polietilén-tereftaláton mért értékhez képest (17. ábra) (Farrington *et al.*, 2005, Choi és Seo, 2006).



17. ábra. C. I. Disperse Red 60 színezék K/S⁶ görbéje a hullámhossz függvényében PLA és PET kelmén (Farrington *et al.*, 2005)

- A színezékek affinitása a szálhoz: A színezékek kihúzása általában sokkal szélesebb határok között változik, mint PET esetén (Farrington *et al.*, 2005, Choi és Seo, 2006). Pl. azonos színezékkoncentráció (szálto-megre 4 %) esetén a kihúzást 12 és 88 % között tapasztalták (Choi és Seo, 2006), tehát egyes esetekben a színezék nagy része veszendőbe megy. – Modellszámítások szerint a diszperziós színezéken levő -N(C₂H₄OCOCH₃)₂, -(CO)₂NC₃H₆OCH₃, -SO₂NHC₆H₅, -NO₂, -CN(NH)C₆H₄ és -CH(CO)₂C₆H₄ csoportok adják a legerősebb kölcsönhatást, míg a -Br és -Cl a leggyengébbet. A számítások eredményét kísérletek is igazolták (Karst *et al.*, 2007). – Hidrofób alifás láncok beépítése az antrakinon színezékekbe javította a színezék-megkötést (He *et al.*, 2007). – A szálkeresztmetszet mikroszkópi vizsgálata szerint a színezék a szál belsejébe is bediffundál (He *et al.*, 2009).

⁶ K/S = Kubelka-Munk koefficiens, a fényt visszaverő felület abszorpciós együtthatójának (K) és szórási együtthatójának (S) hányadosa. Nagyobb érték mélyebb színt jelent.

Színezési technológia

- Színezék-válogatás: A kutatások jelenleg az alkalmas színezékek válogatásának szakaszában vannak. Nyilván el kell vetni a szálhoz kevésbé kötődő és/vagy rossz valódisági értékeket adó színezékeket, ugyanakkor olyan érdekes jelenségeket is tovább kell vizsgálni, mint két színezék együttes alkalmazásakor észlelt szinergens hatás (Choi et al., 2007). A színezék-válogatás fontos fejlesztési lépés, a „válogatott diszperziós színezékek” a PET színezése esetén régóta ismert fogalom, tehát a PET esetén ez a válogatás már régen megtörtént. A politejsav szál színezésére alkalmas színezékek jó válogatásával jelenleg a Dystar cég rendelkezik, amely Magyarországról is elérhető.

- Kerrier: Bár a PLA csak kis hőmérsékleten színezhető, kerrierre még sincs szükség (NatureWorks LLC, web 2010f).

- Hőmérséklet: A színezés eredménye nagyon érzékeny a hőmérsékletre, 90 °C-on és annál nagyobb hőmérsékleten a színezékfelvétel jelentősen megnő (Choi és Seo, 2006, Choi et al., 2007, Scheyer és Chiweshe, 2001). A szál hőérzékenysége miatt fontos a technológia szigorú kézbentartása, ami a modern színezőberendezésekkel megoldható.

- Idő: A szálon megkötődni képes színezék túlnyomó többsége 10-20 perc alatt felhúzza a szálra (Scheyer és Chiweshe, 2001), ami a politejsav esetén általánosan ajánlott rövid kezelési idő szempontjából előnyös.

- Reduktív kezelés: A diszperziós színezék feleslegét, amely a felhasználás során a fogyasztónál „vérezne le” a szálról, színezés után ún. reduktív utánkezeléssel kell eltávolítani. Arra is történtek kísérletek, hogy ezt a műveletet más segédanyagok (detergens) vagy ultrahang alkalmazásával helyettesítsék (Burkinshaw et al., 2008, 2008a, 2008b).

- Keveréktextília színezése: PLA/pamut keveréket diszperziós (PLA) és reaktív (pamut) színezékekkel színeztek. Feltehető, hogy a reaktív színezéshez szükséges lúgos pH – viszonylag hosszú ideig alkalmazva – károsítja a PLA-t (Phillips et al., 2004a).

- Színezés csáva (indigó) színezékekkel: A politejsav indigóval is jól színeződik (Sawada és Ueda, 2007), ez a színezési eljárás is érdemes a további vizsgálatra.

A PLA és a PET színezésének összehasonlítása

- Színezékfelvétel: A PLA színezékfelvétele általában kisebb, és szélesebb határok között változik, mint a PET-é (l. előbb);

- Színmélység: Kis színezéktartalom esetén is mély színeket kaphatunk (l. előbb).

- Sötét színek: A kisebb színezékfelvétel miatt a sötét színek kialakítása politejsav szálon problematikus.

- Színtartóssági értékek: A színezett PLA kelme mosásállósága és dörzsállósága kismértékben elmarad a PET kelme értékeitől, míg a fényállóságban a különbség minimális (Yang és Huda, 2003, Phillips et al., 2004, Farrington et al., 2005). Ezt kétféle jelisséggel magyarázzák: az utóhőkezelés során a színezék a szál belsejéből a felszínre vándorol (termomigráció), ill. a PET-énél kisebb utóhőrogzítási hőmérsékleten a felületen levő színezékfelesleg nem szublimál, hanem a kel-

mén maradva rontja a nedves valódisági értékeket (Phillips et al., 2004).

9.3 Kikészítés

A kelme végső tulajdonságait (pl. gyűrődésfeloldás, nedvesedő-képesség, hidrofobizálás, lángállóság) a tágabb értelemben vett kikészítési folyamat végén, a szűkebb értelemben vett kikészítés (finishing) folyamán adják meg. A PET esetében általában alkalmaznak hidrofíll kikészítőszert.

A politejsav jó nedvszívó képessége és lángállósága miatt ezeknek megfelelő kikészítésre nincs szükség.

A **hidrofobizálásra** hagyományosan használt fluorozott szénvegyületeket nagy hőmérsékleten rögzítik PET kelmén, ez a technológia politejsav szálon nem alkalmazható. Kétféle megoldási lehetőségről jelent meg kutatási eredmény:

- Perfluor-alkil-akril vegyületet a szálra nem károsító hideg plazma eljárással polimerizáltak a szálon, a termék víz- és olajtaszítóvá vált (Khoddami et al., 2010).

- Kb. 1,5 µm átmérőjű szilika részecskéket ún. szol-gél eljárásban trietoxi-vinil-szilánnal kezeltek, majd UV sugárzással ún. foto-oltási eljárásban rögzítették a szálon. Az így kezelt kelmén a víz peremszöge 150° volt (Bae et al., 2010).

10. összefoglalás.

A politejsav szál hazai feldolgozása

A politejsav szál számos előnye miatt feltétlenül hasznos volna a hazai bevezetése. A szál speciális tulajdonságaiból fakadó különleges technológiák megvalósíthatónak látszanak.

A Textil Technológiai Platform (TEXPLAT) egyik stratégiai témájaként van bizonyos esély arra, hogy az NKTH által támogatott projektek közé bekerül.

A politejsav szálvertikum kialakítása

Szálgyártás

- A szakirodalom szerint a szálhúzás körülményei a poliolefinekéhez hasonló, tehát a polipropilén szál gyártásában gyakorlott cégek feltehetően a politejsav szál gyártását is meg tudják oldani.

- Perspektivikusan a nagy értékű nanoszál gyártás is szóba jöhet, hiszen Csehországban nanoszál gyártó cég működik, (Elmarco, web 2010), a Libereci Egyetemen sok éve folyik ilyen irányú kutatás.

Fonás

- A fonógyarak általában (1,3)-1,5-3 dtex finomságú vágott szál fonására vannak felkészülve, ilyen politejsav szál előállítható.

Kelmeképzés

- Szövés, kötés
- Nemszött textíliák gyártása

Textilkikészítés

- Előkészítés, színezés, kikészítés
- Nemszött textíliák nedves kezelése (pl. törőken-dők céljára)

11. Irodalom

- Avinc O, Wilding M, Phillips D, Farrington D (2010), 'Investigation of the influence of different commercial softeners on the stability of poly(lactic acid) fabrics during storage', *Polym Degrad Stab* 95, 214-224.
- Bae GY, Jang J, Jeong YG, Lyoo WS, Min BG (2010), 'Superhydrophobic PLA fabrics prepared by UV photo-grafting of hydrophobic silica particles possessing vinyl groups', *J Colloid Interf Sci*, 344, 584-587.
- Bhat GS, Gulgunje P, Desai K (2008), 'Development of structure and properties during thermal calendaring of polylactic acid (PLA) fiber webs', *EXPRESS Polym Lett* 2, 49-56.
<http://www.expresspolymlett.com/>
- Bioplastics Magazine (2007 02), 'Biodegradable non-wovens made from PLA'
- Bioplastics Magazine (2008 04), 'Ingeo™ Fiber Revolutionizes the Nonwoven Sector'
- Bioplastics Magazine (2008 04a), 'Eco-Friendly Non-Woven and Woven Fabric'
- Bioplastics Magazine (2009), 'Sorting through facts and claims', 4, 01, 29-31.
- Bioplastics Magazine (2009 05), 'New carpet made from PLA fibres'
- Bioplastics Magazine (2009 05a), 'PLA floor mat'
- Bioplastics Magazine (2009 05b), 'Innovative Tea-Bag Material Made From PLA Fibres'
- Bioplastics Magazine (2010 01), 'OLYMP Tests PLA Shirt and Blouse Fabrics'
- Bioplastics Magazine (2010 03), 'High-performance flax-PLA'
- Bioplastics Magazine (2010 03a), 'PLA-based paper for laser printing'
- Bioplastics Magazine (2010 03b), 'First PLA Pilot Unit in Europe'
- Blackburn RS, Zhao X, Farrington DW, Johnson L (2006), 'Effect of D-isomer concentration on the coloration properties of poly(lactic acid)', *Dyes and Pigments*, 70, 251-258.
- Buckley A, Stuezt DE, Serad GA, (1988) 'Encyclopedia of Polymer Science and Engineering', Second Edition, John Wiley & Sons: New York, Vol II, 572-601, from Goswami BC, Anandjiwala RD, Hall DM (2004), *Textile sizing*, Marcell Dekker, 100-101.
- Burkinshaw SM, Jeong DS (2008), 'The clearing of poly(lactic acid) fibres dyed with disperse dyes using ultrasound. Part 1: Colorimetric analysis', *Dyes and Pigments*, 77, 171-179.
- Burkinshaw SM, Jeong DS (2008a), 'The clearing of poly(lactic acid) fibres dyed with disperse dyes using ultrasound. Part 2 – fastness', *Dyes and Pigments*, 77, 180-190.
- Burkinshaw SM, Jeong DS (2008b), 'The clearing of poly(lactic acid) fibres dyed with disperse dyes using ultrasound. Part 3', *Dyes and Pigments*, 77, 387-394.
- Carus M, Piotrowski S (2009), 'Land use for bioplastics', *Bioplastics Magazine*, 4, 04, 44-49.
- Chen VJ, Ma PX (2004), 'Nano-fibrous poly(L-lactic acid) scaffolds with interconnected spherical macropores', *Biomaterials*, 25, 2065-2073
- Childs D (Cleantech Group) (2007), 'Sportswear from corn-based textiles'
<http://cleantech.com/news/532/sportswear-from-corn-based-textiles>
- Choi J-h, Seo W-y (2006), 'Coloration of Poly(lactic acid) with Disperse Dyes. I. Comparison to Poly(ethylene terephthalate) of Dyeability, Shade, and Fastness', *Fiber Polym*, 7, 270-275.
- Choi J-H, Kim M-H, Park J-s, Jeon J-m, Kim D-O, Towns AD (2007), 'Coloration of Poly(lactic acid) with Disperse Dyes. II. Dyeing Characteristics and Color Fastness', *Fiber Polym*, 8, 37-42.
- Cicero JA, Dorgan JR, Janzen J, Garrett J, Runt J, Lin JS (2002), 'Supramolecular morphology of two-step, melt-spun poly(lactic acid) fibers', *J Appl Polym Sci*, 86, 2839-2346.
- Dan X (2007), 'Polylactic acid maybe hope for solving white pollution. (MARKET REPORT: Resin)'
<http://www.entrepreneur.com/tradejournals/article/170455435.html>
- Dartee M, Lunt J, Shafer A. – NatureWorks PLA (2001 August), 'Sustainable Performance fiber. Man-Made Fiber Year Book', 29-31, from Goswami BC, Anandjiwala RD, Hall DM (2004), *Textile sizing*, Marcell Dekker, 100-101.
- Dorgan JR, Jansen J, Clayton MP (2005), 'Melt rheology of variable L-content poly(lactic acid)', *J Rheol*, 49, 607-619.
- Dugan JS (Fiber Innovation Technology, Inc) (web 2010), 'Novel properties of PLA fibers'
www.fitfibers.com/files/PLA%20Fibers.doc
- Donaldson (web 2010)
<http://www.donaldson.com/en/filtermedia/nanofibers/index.html>
- Elmarco (web 2010)
<http://www.elmarco.com>
- Fan X, Wang Q, Su L, Yuan J (2008), 'Enzymatic modification of PLA fiber and its properties', *J of Biotechnol*, 136S, S384
- Farrington DW, Lunt L, Davies S, Blackburn RS (2005), 'Poly(lactic acid) fibers', in Blackburn RS, *Biodegradable and Sustainable Fibres*, CRC Press, pp 191-220.
http://www.natureworkslc.com/product-and-applications/ingeo-biopolymer/technical-publications/~media/Product%20and%20Applications/Ingeo%20Biopolymer/Technical%20Resources/Ingeo%20Technical%20Bulletins/TechnicalBulletin_BiodegradableSustainableFibers_Chap6_2005_pdf.ashx
- Fiber2fashion (2009), 'Biodegradable Fibre: Solution for plastic waste free world?'
<http://www.fibre2fashion.com/industry-article/17/1668/biodegradable-fibre-solution-for-plastic-waste-free-world1.asp>
- Finetextech (web 2010)
<http://www.finetextech.com/>
- FTC – Federal Trade Commission (2002. január 11.), 'Rules and Regulations Under the Textile Fiber Products Identification Act', § 303.7 (y)
<http://www.ftc.gov/os/statutes/textile/rr-text1.shtm>
- Fibersource (web 2010)
<http://www.fibersource.com/>
- François, Chakfé N, Durand B, Laroche G (2009), 'A poly(L-lactic acid) nanofibre mesh scaffold for endothelial cells on vascular prostheses', *Acta Biomater*, 2418-2428.
- Furuhashi Y, Kimura Y, Yoshie N, Yamane H (2006), 'Higher-order structures and mechanical properties of stereocomplex-type poly(lactic acid) melt spun fibers', *Polymer*, 47, 5965-5972.
- Goswami BC, Anandjiwala RD, Hall DM (2004), 'Textile sizing', Marcell Dekker, 100-101.
http://books.google.hu/books?id=hQs8k8QJIGMC&pg=PA143&lpg=PA143&dq=Textile+sizing+Marcel+dekker+PLA&source=bl&ots=Fy5TzHqzCU&sig=cEHGKLrvszmf2HJ2BUg5iyw3G9g&hl=hu&ei=A8ohTJWYKsyNOI3C_FY&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=1&ved=0CBkQ6AEwAA#v=onepage&q&f=false
- Graupner N, Hermann AS, Müssig J (2009), 'Natural and man-made cellulose fibre-reinforced poly(lactic acid) (PLA) composites: An overview about mechanical characteristics and application areas', *Composites: Part A*, 40, 810-821)
- Gupta B, Revagade N, Hilborn J (2007), 'Poly(lactic acid) fiber: An overview', *Prog. Polym. Sci.* 32, 455-482.
- He L, Zhang SF, Tang BT, Wang LL, Yang JZ (2007), 'Dyes with high affinity for polylactide', *Chinese Chemical Letters*, 18, 1151-1153
- He L, Zhang S, Tang B, Wang L, Yang J (2009), 'Dyeability of Polylactide Fabric with Hydrophobic anthraquinone Dyes', *Chinese J of Chem Eng* 17, 156-159
- Hernandez J (2009), 'PLA fibers: from plastics to pillows'

- <http://craftingagreenworld.com/2009/02/02/pla-fiber-from-plastics-to-pillows/>
- IPPC (1995) Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate change 1995—the science of climate change. Albritton D, Derwent R, Isaksen I, Lal M, Wuebbles D. In: Houghton JT, Meira Filho LG, Callander BA, Harris N, Kattenberg A, Maskell K, editors. Radiative forcing of climate change. Cambridge (UK): Cambridge University Press; 1995. p. 119–21.
- Kaijiyama H, Uedo H, Yoshida H, Ogura T (2009), 'Polylactic acid resin, textile products obtained therefrom, and processes for producing textile products', <http://www.patentgenius.com/patent/7608329.htm>
- Kamath MG, Bhat GS, Parikh DV, Mueller D (2005), 'Cotton Fiber Nonwovens For Automotive Composites', *INJ* (International Nonwoven Industry), Spring, 34–40.
- Karst D, Nama D, Yang Y (2007), 'Effect of disperse dye structure on dye sorption onto PLA fiber', *J Colloid Interf Sci*, 310, 106–111.
- Kelley N (Textile Fabric Consultants, Inc.) (web 2010), 'Will corn revolutionize the fiber industry?' <http://www.fabrics.net/amycorn.asp>
- Khoddami A, Avinc O, Mallakpour S (2010), 'A novel durable hydrophobic surface coating of poly(lactic acid) fabric by pulsed plasma polymerisation', *Prog Org Coat*, 67, 311–316.
- Li R, Yao D (2007), 'Preparation of single poly(lactic acid) composites', *J Appl Polym Sci*, 107, 2909–2916.
- Lim L-T, Auras R, Rubino M (2008), 'Processing technologies for poly(lactic acid)', *Progr Polym Sci*, 33, 820–852.
- Lunt, J. (2000), 'Polylactic acid polymers for fibers and nonwovens', *In. Fiber J*, 48–52. from Goswami BC, Anandjiwala RD, Hall DM (2004), *Textile sizing*, Marcel Dekker, 100–101.
- Martinez M (2009), 'Nonwoven developed for tea-bags', *Techn Tex Intern*, June 2009, 46.
- Mayberry P, Franken J (2002 March), New generic fiber designated, Cargill Dow's PLA fiber wins approval from FTC; *Nonwovens Industry*, 24–26, from Goswami BC, Anandjiwala RD, Hall DM (2004), *Textile sizing*, Marcel Dekker, 100–101.
- Murase S (1998), 'Biodegradable fiber. Focused on poly-lactic acid', *Dyeing industry*, 46, 558–562. <http://scielinks.jp/j-east/article/199911/000019991199A0201672.php>
- NatureWorks LLC (web 2010), 'Home Textiles Furnishings Flammability' http://www.natureworkslc.com/product-and-applications/ingeo-biopolymer/technical-resources/~media/Product%20and%20Applications/Ingeo%20Fibers/Technical%20Resources/Fact%20Sheets/FactSheet_HomeTextiles_FurnishingsFlammabilityCharacteristics_pdf.ashx
- NatureWorks LLC (web 2010a), 'Ingeo fibers' <http://www.natureworkslc.com/product-and-applications/ingeo-fibers.aspx>
- NatureWorks LLC (web 2010b), 'Processing guides' <http://www.natureworkslc.com/product-and-applications/ingeo-biopolymer/technical-resources/ingeo-processing-guides.aspx>
- NatureWorks LLC (web 2010c), 'Fiber to fabric' http://www.natureworkslc.com/product-and-applications/ingeo-biopolymer/technical-resources/~media/Product%20and%20Applications/Ingeo%20Fibers/Technical%20Resources/Fact%20Sheets/FactSheet_Apparel_FibertoFabric_pdf.ashx
- NatureWorks LLC (web 2010d), 'Weaving Ingeo™ Fiber Fabrics' http://www.natureworkslc.com/product-and-applications/ingeo-biopolymer/technical-resources/~media/Product%20and%20Applications/Ingeo%20Fibers/Technical%20Resources/Fact%20Sheets/FactSheet_Fabrics_WeavingIngeoFiberFabrics_pdf.ashx
- NatureWorks LLC (web 2010e), 'Guidelines for garment manufacturing from fabrics containing Ingeo™ fiber' http://www.natureworkslc.com/product-and-applications/ingeo-biopolymer/technical-resources/~media/Product%20and%20Applications/Ingeo%20Fibers/Technical%20Resources/Fact%20Sheets/FactSheet_Apparel_GuidelinesforGarmentManufacturing_pdf.ashx
- NatureWorks LLC (web 2010f), 'Dyeing & Finishing Woven Fabrics of Ingeo™ Fiber' http://www.natureworkslc.com/product-and-applications/ingeo-biopolymer/technical-resources/~media/Product%20and%20Applications/Ingeo%20Fibers/Technical%20Resources/Fact%20Sheets/factsheet_dyeing_finishing_wovenfabrics_pdf.ashx
- NatureWorks LLC (web 2010g), 'Dyeing & Finishing Knitted Goods From Spun Yarns' http://www.natureworkslc.com/product-and-applications/ingeo-biopolymer/technical-resources/~media/Product%20and%20Applications/Ingeo%20Fibers/Technical%20Resources/Fact%20Sheets/FactSheet_Dyeing_Finishing_KnittedGoodsfromSpunYarns_pdf.ashx
- NatureWorks LLC (web 2010h), 'Dyeing & Finishing Knitted Goods From Filament Yarns' http://www.natureworkslc.com/product-and-applications/ingeo-biopolymer/technical-resources/~media/Product%20and%20Applications/Ingeo%20Fibers/Technical%20Resources/Fact%20Sheets/FactSheet_Dyeing_Finishing_KnittedGoodsfromFilamentYarns_pdf.ashx
- NatureWorks LLC (web 2010i), 'Fact sheets by application' <http://www.natureworkslc.com/product-and-applications/ingeo-biopolymer/technical-resources/ingeo-biopolymer-fact-sheets.aspx>
- NatureWorks LLC (web 2010j), 'Statusreport' <http://statusreports.atp.nist.gov/reports/94-01-0173.htm>
- Phillips D, Suesat J, Taylor JA, Wilding M, Farrington D, Bone J, Dervan S (2004), 'Thermal migration of selected disperse dyes on poly(ethylene terephthalate) and Poly(lactic acid) (Ingeo) fibres', *Color Techn*, 120, 260–264.
- Phillips D, Suesat J, Wilding M, Farrington D, Sandukas S, Sawyer D, Bone J, Dervan S (2004a), 'Influence of different preparation and dyeing processes on the physical strength of the Ingeo fibre component in an Ingeo fibre/cotton blend. Part 1; Scouring followed by dyeing with disperse and reactive dyes', *Color Techn*, 120, 35–40.
- Reddy N, Nama D, Yang Y (2008), 'Polylactic acid/polypropylene polyblend fibers for better resistance to degradation', *Polym Degrad Stab*, 93, 233–241.
- Sawada K, Ueda M (2007), 'Optimization of dyeing poly(lactic acid) fibers with vat dyes', *Dyes and Pigments*, 74, 81–84.
- Scheyer LE, Chiweshe A (2001), 'Application and Performance of Disperse Dyes on Polylactic acid (PLA) Fabric', *AATCC Review*, Febr 2001, 44–48.
- Schmack G, Tändler B, Vogel R, Beyreuther R, Jacobsen S, Fritz H-G (1999), 'Biodegradable fibers of poly(l-lactide) produced by high-speed melt spinning and spin drawing', *J Appl Polym Sci*, 73, 2785–97.
- Schmack G, Jehnichen D, Vogel R, a, B. Tändler, Beyreuther R, Jacobsen S, Fritz H-G (2001), 'Biodegradable fibres spun from poly(lactide) generated by reactive extrusion', *J Biotechn*, 86, 151–160.
- Schmack G, Tändler B, Optiz G, Vogel R, Komber H, Häußler L, et al. (2004), 'High-speed melt spinning of various grades of polylactides', *J Appl Polym Sci*, 91, 800–806.

- Smith D, Drews MJ, Vasanathan N (2007), 'Poly(lactic acid) Derived Fibers and Films with Enhanced Performance', *NTC Project: M04-CL07-07*.
<http://www.ntcresearch.org/pdf-rpts/Bref0607/M04-CL07-07.pdf>
- Suesat J, Phillips DAS, Wilding MA, Farrington DW (2003), 'The influence of yarn-processing parameters on the tensile properties and structure of poly (l-lactic acid) fibres', *Polymer*, 44, 5993-6002.
- Tanaka K, Kawasaki T, Katayama T, Hyon S-H (web 2010), 'Environmental degradation of stereocomplex-type polylactic acid fiber'
http://extra.ivf.se/eccm13_programme/abstracts/239.pdf
- Vink ETH, Rábag KR, Glassner DA, Gruber PR (2003), 'Applications of life cycle assessment to NatureWorks™ polylactide (PLA) production', *Polym. Degrad. Stab*, 80, 403-419
- Wilson A (2009), 'Searching for alternatives to petrochemical fibres in nonwovens', *Techn. Text Internat*, June 2009, 33-37.
- Woodings C (web 2010), 'New developments in biodegradable nonwovens', *NF New Fibres*
<http://www.technica.net/NF/NF3/biodegradable.htm>
- Woodings C (web 2010a), 'Crop-based polymers for nonwovens'
<http://www.nonwoven.co.uk/reports/CRWINSIGHT%202000.html>
- Yamashita Y, Miyake H, Higashiyama A, Tanaka A (web 2010), 'Practical use of nanofiber made by electro-spinning process'
<http://dspace.lib.fcu.edu.tw/bitstream/2377/3895/1/ce05atc902007000024.pdf>
- Yagi H; Ninomiya F; Funabashi M; Kunioka M. (2009). 'Anaerobic Biodegradation Tests of Poly(lactic acid) under Mesophilic and Thermophilic Conditions Using a New Evaluation System for Methane Fermentation in Anaerobic Sludge.' *Int. Mol Sci* 10, no. 9: 3824-3835.
<http://www.mdpi.com/1422-0067/10/9/3824/>
- Yamanaka (web 2010)
http://www.google.hu/imgres?imgurl=http://www.yamanaka-sangyo.jp/english/ecology/img/pori_junkan.gif&imgrefurl=http://www.yamanaka-sangyo.jp/english/ecology/index.html&usq=__yDmp5hAxpmbp553Qnsw6owr-Hg=&h=350&w=323&sz=22&hl=hu&start=7&um=1&itbs=1&tbnid=Ku5i6emB6-VLYM:&tbnh=120&tbnw=111&prev=/images%3Fq%3Dpolylactic%2Bacid%26um%3D1%26hl%3Dhu%26lr%3Dlang_hu%26client%3Dfirefox-a%26sa%3DG%26rls%3Dorg.mozilla:hu:official%26channel%3Ds%26tbs%3Disch:1,lr:lang_1hu
- Yang Y, Huda SS (2003), 'Comparison of disperse dye exhaustion, color yield, and colorfastness between polylactide and poly(ethylene terephthalate)', *J Appl Polym Sci*, 90, 3285-3290
- Yuan X, Mak Arthur FT, Kwok KW, Yung Brain KO, Yao K (2001), 'Characterization of poly(L-lactic acid) fibers produced by melt spinning', *J Appl Polym Sci*, 81, 251-260.

A politejsav gyártásának hazai helyzete

Dr. Bodnár Zsolt

Nitrokémia Zrt., 8184 Balatonfűzfő, Munkás tér 2.
 bodnar.zsolt@invitel.hu

Külföldi tendenciákra alapozva hazánkban is megfogalmazódott az igény a politejsav (PLA) gyártására. Ebben úttörő szerepet vállalt a Nitrokémia Zrt., amely a tervezett biofinomító beruházás előkészítésére létrehozta a HUNEST Biorefinery Kft.-t. Végső célként évente 10-20 ezer tonna politejsavat állítanak elő. A gyár üzemelképességéig az ECOLAC Kft. által importált PLA alapanyagok behozatalával, és azok feldolgozásával szeretnék a hazai piacot felépíteni.

Sikeres kísérletek folytak a műanyag termékek előállítására (fröccsöntés, fröccsfűvás, fólia) terén, különböző csomagolóanyagok (flakonok, tálcák) előállítására, néhány cég (Pannunion csoport: Almand Műanyagipari Kft., Pannunion Csomagolóanyag Nyrt.) bevonásával.

Az ICO Zrt. politejsav alapon új környezetbarát irodaszerek kollekciót vezetett be.

Az eddig lefolytatott első próbák legfontosabb eredménye az volt, hogy a PLA a meglévő berendezéseken feldolgozható, nincs szükség új gép vásárlására. Természetesen a PLA-t – a PET-hez hasonlóan – feldolgozás előtt szárítani kell. A próbákat új összetételű, adalékolt típusokkal érdemes folytatni, hogy a lehető legjobb tulajdonságú csomagoló-eszközöket mutathassuk be a vevőknek. Ezek a csomagolóeszközök tejtermékek, szénsavmentes ásványvíz, kozmetikumok, gyümölcsök stb. csomagolására ajánlhatók, biológiailag lebomlanak, a csomagolás környezetbarát. Az összegyűjtött politejsav hulladék a gyártásba visszavezethető.

Reméljük, hogy a politejsav szálok hazai bevezetése is megindulnak a kísérletek, a szálgyártás, a felkészítés, a ruházati, műszaki, mezőgazdasági stb. alkalmazás terén.